

# Simulador de Carga Mecânica, em Tempo Real, para Accionamento Eléctrico

José Santos <sup>(1)</sup>, Fernando Janeiro <sup>(1)</sup>, J. F. Martins <sup>(1,2)</sup>, A. J. Pires <sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade de Évora, Dept. de Física, Rua Romão Ramalho 59, 7000-671 Évora, Portugal.

Tel: +351 266745372

<sup>(2)</sup> LabSEI, ESTSetúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Campus do IPS, Estefanilha, 2910-761 Setúbal, Portugal. Tel: +351 265790000, email: [apires@est.ips.pt](mailto:apires@est.ips.pt)

**Resumo** – O objectivo deste trabalho é implementar um simulador, em tempo real, de carga mecânica por forma a aferir os diferentes comportamentos de uma máquina eléctrica em função do tipo de carga a accionar. O protótipo desenvolvido permite ensaiar o comportamento de qualquer tipo de máquina rotativa, inserida num accionamento eléctrico, para vários tipos de carga mecânica. De forma a estudar o comportamento de uma máquina eléctrica para um conjunto alargado de cargas mecânicas foram implementadas várias cargas típicas, cujo binário de carga pode depender do tempo ou da velocidade. São apresentadas características de implementação do sistema desenvolvido, que faz uso de um travão magnético e de um autómato programável, e resultados experimentais obtidos para vários tipos de carga.

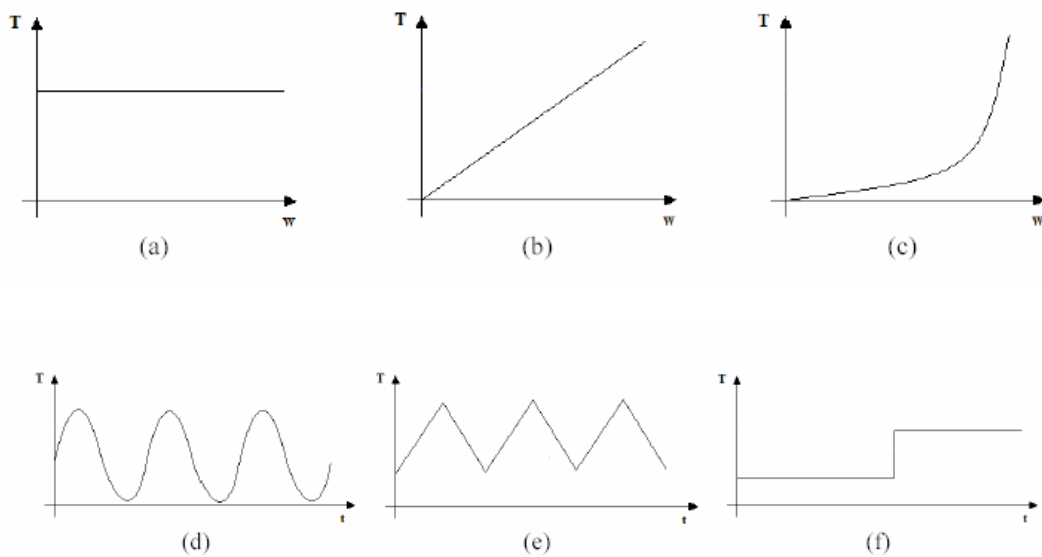
**1. Introdução e Objectivo** – O estudo de uma máquina eléctrica, qualquer que ela seja, não pode, na maior parte das vezes, ser dissociado da carga mecânica que esta acciona. O estudo deve visar o accionamento como um todo e não apenas o elemento motor. Por outro lado, a diversidade de cargas mecânicas que um motor pode accionar torna limitativo o estudo de apenas um tipo de carga. Desta forma é importante conceber um sistema que permita ensaiar o comportamento de qualquer tipo de máquina rotativa, inserida num accionamento eléctrico, para vários tipos de carga mecânica.

Este trabalho implementa um simulador, em tempo real, de carga mecânica para aferir os distintos comportamentos de uma máquina eléctrica em função do tipo de carga a accionar. Uma máquina eléctrica apresenta diferentes comportamentos em função da carga mecânica accionada [1], sendo que diferentes tipos de cargas mecânicas apresentam características mecânicas bastante distintas entre si [2].

**2. Descrição do Sistema** – Como é sabido o funcionamento do motor vai depender das suas características dinâmicas e das impostas pela carga, obedecendo a velocidade do sistema à equação dinâmica (1), onde  $J$  representa o momento de inércia de todo o sistema,  $\omega$  a velocidade angular do conjunto,  $T_m$  o binário motor,  $B$  o coeficiente de atrito e  $T$  o binário de carga.

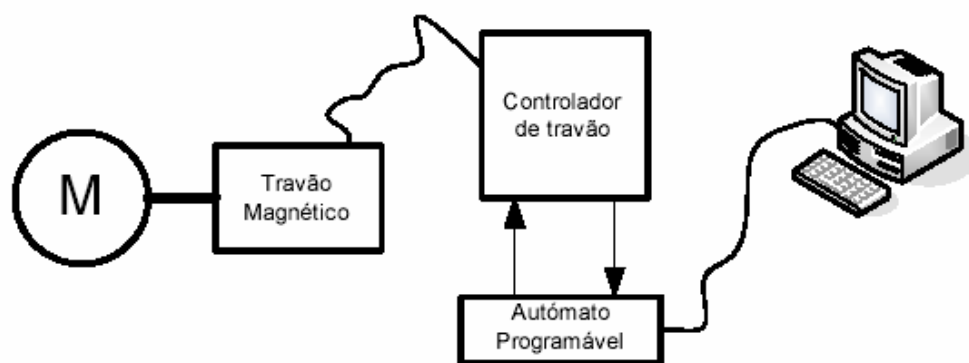
$$T - B\omega = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1)$$

Para atingir os objectivos propostos foi desenvolvido um protótipo laboratorial destinado a simular diferentes tipos de cargas mecânicas aplicadas a um motor eléctrico. As várias cargas típicas implementadas estão representadas na Figura 1: Binário constante (gruas, guindastes, transportadores de correias sobre carga constante); binário que varia linearmente com a velocidade angular do veio (moinhos de rolos, bombas de pistão e serras para madeira); binário que varia com o quadrado da velocidade angular do veio (ventiladores, misturadoras, bombas centrífugas, exaustores e compressores); binário que varia sinusoidalmente no tempo (prensas); binário que varia no tempo de uma forma triangular e escalão de binário.



**Figura 1.** Cargas típicas implementadas no sistema. (a) Binário constante, (b) Binário linear, (c) Binário quadrático, (d) Binário sinusoidal, (e) Binário triangular, (f) Binário escalão

O simulador foi executado recorrendo a um travão magnético (associado ao seu respectivo controlador) da marca Leybold e a um autómato programável (SIEMENS S7-300) [3], cujo esquema de princípio se apresenta na Figura 2. O travão magnético permite desenvolver binários até 10Nm e ler velocidades até 6000rpm. O binário pode ser imposto localmente através do seu controlador ou ser proveniente de um sinal de referência exterior. O controlador de binário fornece ainda um sinal, em tensão, proporcional à velocidade do sistema.



**Figura 2** – Esquema de princípio.

As diferentes características mecânicas (2) dos vários tipos de carga a simular ( $T$  identifica o binário de carga imposto ao motor,  $\omega$  a velocidade angular do sistema e  $t$  o

tempo), foram programadas no autómato já mencionado [4]. As diferentes cargas mecânicas implementadas podem ser divididas em dois tipos distintos, dependendo ou não explicitamente do tempo. As que não dependem do tempo, mas são constantes ou dependem da velocidade, obedecem às relações apresentadas em (3). As que dependem do tempo obedecem às relações apresentadas em (4).

$$\begin{cases} T = f_1(\omega) & , \text{ dependência da velocidade} \\ T = f_2(t) & , \text{ dependência do tempo} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} T = K_1 \\ T = K_2 \omega \\ T = K_3 \omega^2 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} T = K_5 \sin(K_6 t) + K_7 \\ T = K_8 \sin^{-1}(\sin(K_9 t)) + K_{10} \\ T = K_{11} h(t - K_{12}) \end{cases} \quad (4)$$

Nas expressões (3) e (4) as constantes  $K_x$  podem ser alteradas por recurso ao computador de supervisão.

Através de uma das suas entradas analógicas o autómato recebe informação da velocidade angular (sinal proveniente do controlador de travão) e, em função do tipo de carga a simular, indica ao controlador de travão, através de uma das suas saídas analógicas, qual o binário a impor no veio do accionamento eléctrico.

A velocidade de rotação da máquina é obtida através de um sinal, em tensão, proveniente do controlador de travão. Este sinal (para a gama de velocidades das máquinas testadas) varia entre 0 e 6,554V e é transmitido ao autómato

programável mediante a sua entrada analógica, que permite uma variação entre 0 e 10V. A tensão de entrada no controlador de travão (referência de binário) varia linearmente entre 0 e 3,2V, sendo que a saída do autómato varia também entre 0 e 10V. Para tal foi necessário efectuar uma adaptação de sinais entre o autómato e o controlador de travão.

O tipo de carga a considerar no accionamento é escolhido recorrendo quer às entradas digitais do autómato programável quer ao computador de supervisão.

**3. Montagem Experimental** – Na Figura 3 apresenta-se o protótipo laboratorial, onde se podem identificar os vários componentes do sistema: 1. Motor eléctrico; 2. Travão magnético; 3. Controlador de travão; 4. Autómato programável; 5. Selector de binário; 6. Computador de supervisão. A velocidade é lida através de um gerador taquimétrico acoplado ao veio do motor, cujo sinal eléctrico é fornecido ao controlador de travão. O tipo de carga mecânica a simular é escolhido pelo operador através do selector de binário (ligado às entradas digitais do autómato programável) ou através do Computador de Supervisão. É possível ainda, através do computador de supervisão, alterar os vários parâmetros das cargas impostas pelo travão (constantes de binário, de tempo e de proporcionalidade) presentes nas expressões (3) e (4).

Na Figura 4 apresentam-se alguns resultados experimentais referentes aos vários tipos de carga simulados no sistema desenvolvido. Em cada ensaio a curva superior representa a evolução temporal da velocidade do sistema de accionamento eléctrico e a inferior a evolução do binário imposto ao motor, proveniente do sistema de simulação desenvolvido. Estes resultados foram obtidos com um motor assíncrono trifásico, da marca Leybold, de 0,25kW, Y/ 400/230V, 0,77/1,34A, 1380rpm.

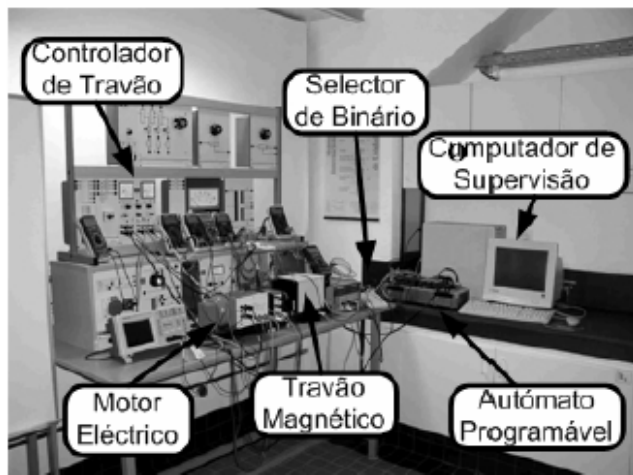
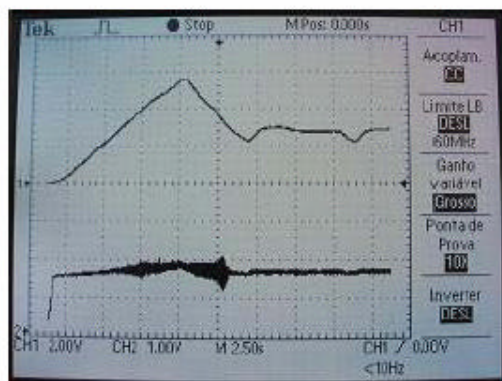
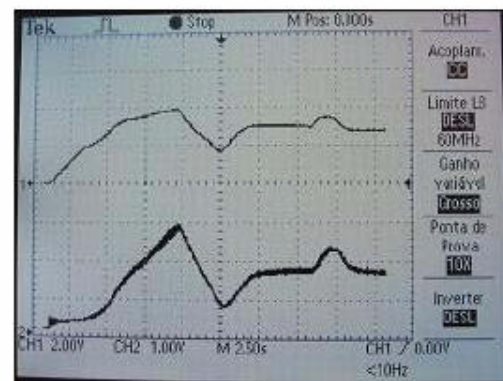


Figura 3 – Protótipo laboratorial.



(a)



(b)